

Spektrális indexek a klímaváltozás földrajzi hatásainak értékelésében

Kovács Ferenc¹ – Gulácsi András²

¹ egyetemi adjunktus, Szegedi Tudományegyetem (SZTE) Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, kovacsfer@geo.u-szeged.hu;

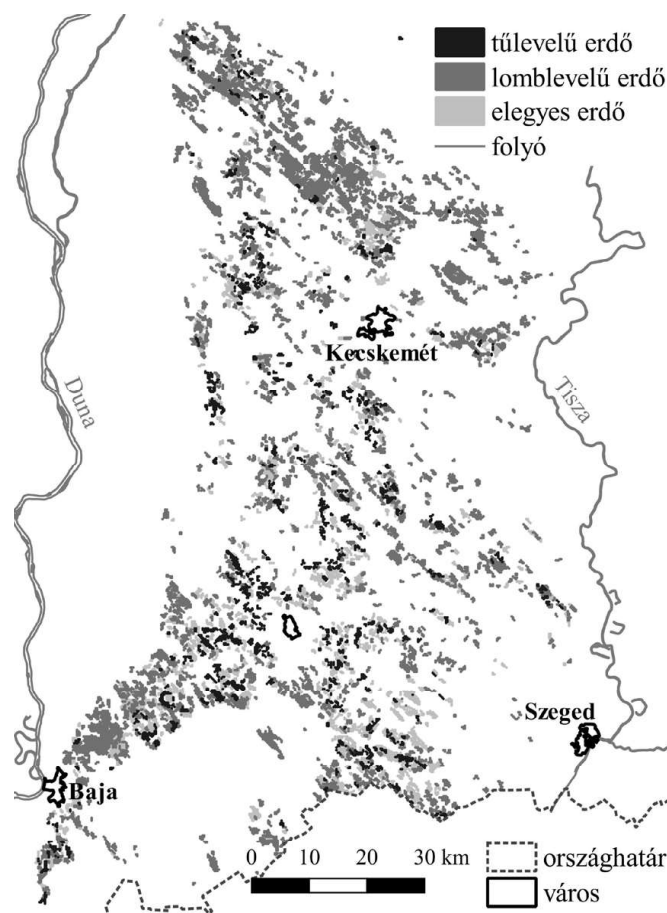
² PhD hallgató, SZTE Földtudományi Doktori Iskola, guland@protonmail.com

Absztrakt: Az éghajlatváltozás által generált folyamatok rendszerszemléletű táji vizsgálatot követelnek, amelyben a vegetáció klímaindikátor szerepe kiemelhető. A fásszárú növényzetet ért hatások mértékét távérzékelési módszerekkel – spektrális indexekkel – számszerűsítve megvizsgáltuk, hogy a klímaváltozás regionális léptékben a 2000-es év óta felismerhető-e a vegetáción. A folyamatosan adatokat gyűjtő monitoring a távérzékelési rendszereknek köszönhetően napi időfelbontással működhet; ennek része az ezredforduló óta érzékelő MODIS szenzor. Térbeli-statisztikai eredményekkel megadható, hogy az erdőgazdálkodás a közeljövőben miként alkalmazkodjon a mezoklimatikus adottságokhoz.

Bevezetés

Az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) jelentései révén a melegedés ténye elfogadottá vált és a klímaváltozás, mint részdiszciplína is intézményesül (JANKÓ ET AL. 2010). A hazai területi tervezésben jelen lévő koncepcionális szint (pl. Nemzeti Aszálystratégia, II. Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia, Nemzeti Éghajlatváltozási Program) mellett nem jelennek meg hatékonyan cselekvési programok; igaz ez akkor is, ha tervezési követelményként Települési és Területi Klímastratégiák, valamint területi és ágazati éghajlati sérülékenységvizsgálatok készülnek. A klímaváltozás általában ritkán érvényesül az országok, régiók fejlesztési elképzeléseiben (MIKA J. 2014). Az erdők és a klímaváltozás kapcsolatát illetően a Nemzeti Erdőstratégiában, a Nemzeti Tájstratégiában az erdőterület növelése, a klimatikus viszonyoknak megfelelő fafajok felhasználása, az erdőkárok mennyiségi növekedése is szóba kerül. A meghatározások számszerűsítése, lehatárolása tér- és időbeli értékelésekkel valósítható meg.

A vegetációt ért hatások vizsgálatára a Duna-Tisza köze jó mintaterület a klímaváltozás mértéke, a fásszárúak magas aránya, az intenzív erdősítés miatt (RAKONCZAI ET AL. 2012; KOVÁCS F. – GULÁCSI A. 2016) (*1. ábra*). Itt az utóbbi 30 évben +1,2–1,5 °C melegedés és 20–30-al több nyári nap jellemző és a vízigény a közeljövőben fokozódni fog (MEZŐSI ET AL. 2016, INTERNET1). A változások földrajzi értékelését az erdőterületek 2000–2016 nyári félévi (81–288. napok) monitoring vizsgálatával dolgoztuk fel. A MOD13Q1 250 m-es felbontású műholdkép termékeken a Corine Land Cover (2000, 2006, 2012) térképek alapján határoltuk le az erdőket. A nagyobb területeket érintő, természeti zavarás megfigyelésére ez a felbontás alkalmas (XIN ET AL. 2013).



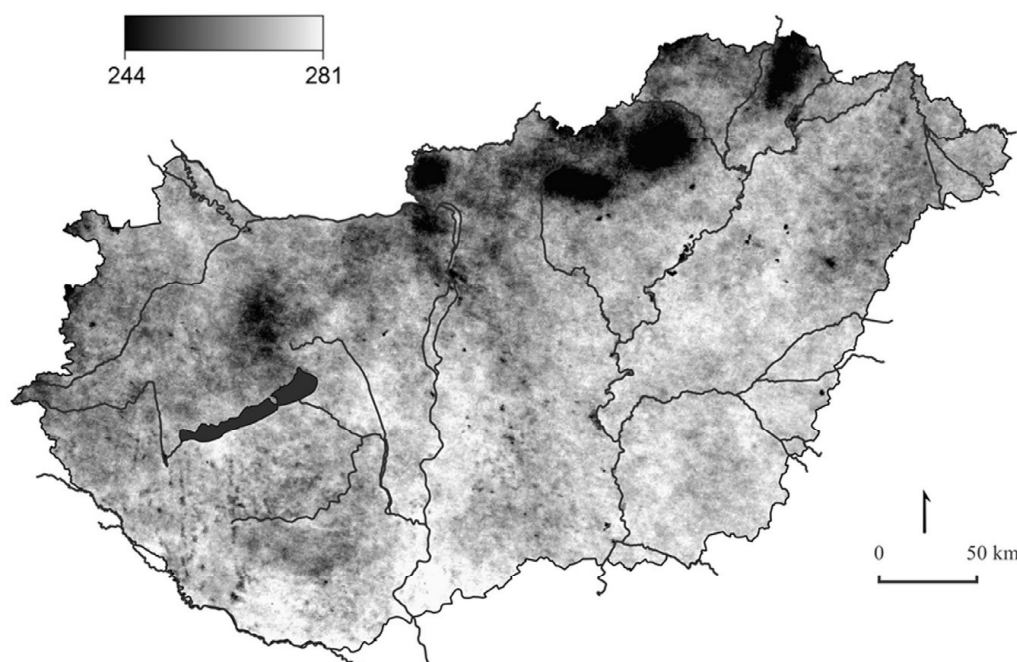
1. ábra Vizsgálatba vont erdőterületek a CLC 2012 példáján

Anyag és módszer

A MODIS, mint a regionális vegetáció-monitoring elemzések fő adata a 2005. év óta globális, 4 km-es, 7 napos, validált NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) szolgáltatást működtet. A MODIS Maximum Value Composit (MVC) előfeldolgozás a cellához az NDVI maximum által prezentált pálya reflektanciáját párosítja. A pályák átfedéseivel és a minőségi vizsgálattal a keringés miatt megadott 16 napos időtartamban 5–10 kép várható. A kompozit pixelek 87%-a a geometriailag pontosabb $\pm 30^\circ$ -os látószögű tartományban van. Az alkalmazott 5. verzió csökkentett a GRID hibáin, napi reflektancia alapú, 1200×1200 km²-es, szinuszoidális egységekben érhető el (SOLANO ET AL. 2010). 16 napos, 250 m-es NDVI/EVI (Enhanced Vegetation Index) kompozittermék alapján elemeztünk.

A 2000–2016 közötti időszak vegetációs index (VI) értékeit tekintve 442 felvétel alapján értékeltünk, így a minőségi adatok részletes elemzését programozási megoldásokkal hajtottuk végre (GULÁCSI – KOVÁCS 2015), és átlagosan 75%-ban érvényes pixelértéket kaptunk (2. ábra). A felvételeken elemzésre alkalmas az időpont, ha a homogén erdős cellák minimum 80%-a jó minőségű; ezek alapján a teljes időtartam 96%-a megfelelő.

A '70-es évek óta használt vegetációs indexekkel a növényzetről gyűjthető



2. ábra Érvényes pixelértékek száma 2000–2014 között (MOD09A1)

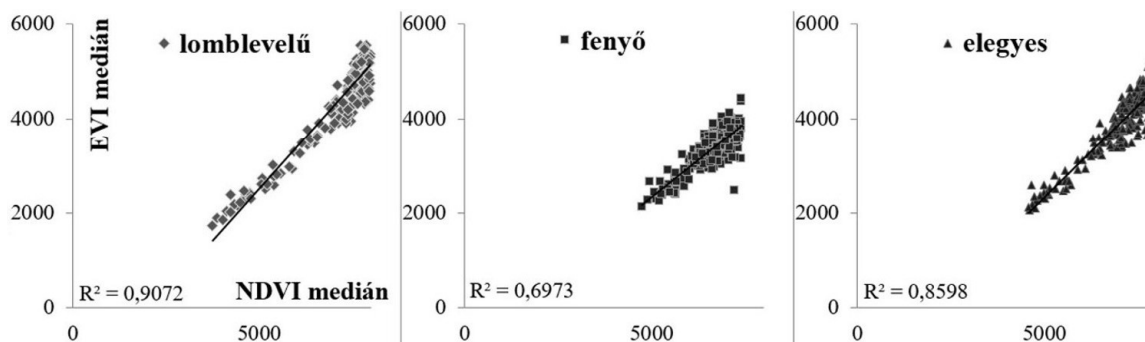
információ kb. 90%-a mérhető (SOLANO ET AL. 2010). Biológiaiailag összetett területen az NDVI jó a felszín változás-értékelésében (LUNETTA ET AL. 2006), amit MOD13Q1 NDVI-vel is bizonyítottak. A talajvilágosság problémája miatt is hasznos, ha a homokterületeinken fekvő erdőket csak a vegetációs időszakban figyeljük meg. Ahl et al. (2006) $\pm 0,04$ -es elfogadható MODIS NDVI hibával is kalkulál, ami az eleve kis értékváltozásokat mutató adatsorban fontos paraméter lehet. Terepi és MODIS NDVI mérések közötti kapcsolat a lomblevelű erdőknél elsősorban a kizöldülés és dúsulás időpontjaiban szignifikáns (HMIMINA ET AL. 2013). Az eredmények alapján illesztett modell inflexiós pontjai kevesebb, mint 1 hetes eltéréssel illeszkednek a zöldülés (tavasz) és a sárgulás (ősz) időpontjaira.

Az EVI pontosabban becsüli a lombzat állapotát, redukálja a felszíni és az atmoszférikus hatásokat (SOLANO ET AL. 2010). Érzékeny az erdőtípusokra, a tűlevelű- és a lombos erdő EVI között 1,5-szeres az eltérés. Hangsúlyosabb a csökkenés a levélvesztés idején (HUETE ET AL. 2002). Simább, szimmetrikusabb évszakos profilú, jobban definiált csúccsal, értéke az NDVI-nél alacsonyabb, szűkebb tartománya előny a „telítettség” kiküszöbölésében. A kétféle VI erdőknél általában nem korrelál, de mintaterületi értékeink ezt nem igazolják (3. ábra). Az NDVI és EVI kiegészítik egymást, így eredményesebb a változás-detektálás.

A MODIS VI standardizált anomália a Duna-Tisza közén vizsgálva aszályos években jelentős negatív eltérést mutatott (LADÁNYI ZS. – BLANKA V. 2014).

$$EVI_{\text{standardizált}} = (EVI_{i,j} - EVI \text{ átlag}_{i,j}) / EVI \text{ szórás}_{i,j}$$

Mintaterületünkön száraz időszak és a sűrű vegetáció is előfordul, ezért az EVI/NDVI és a Pálfai-féle aszályindex (PAI) kapcsolatát néztük meg.



3. ábra EVI és NDVI értékek kapcsolata a Duna-Tisza köze erdőterületein (2000–2016)

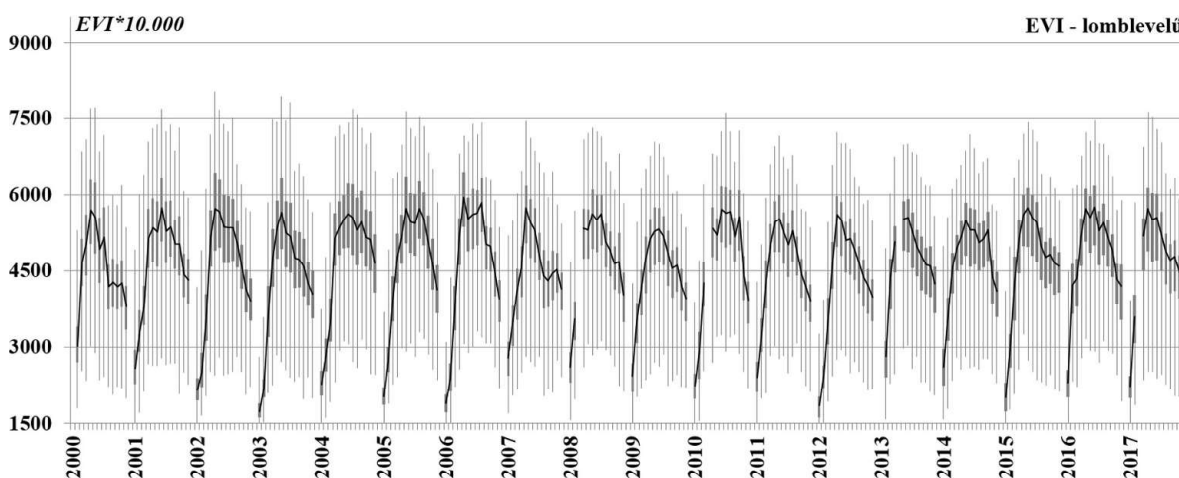
Eredmények

A 2000–2016 között az EVI adatsor az NDVI-nél szabályosabb, a külső hatásokra érzékenyebb (4. ábra). A tűlevelűnél az EVI már 50%-al kisebb.

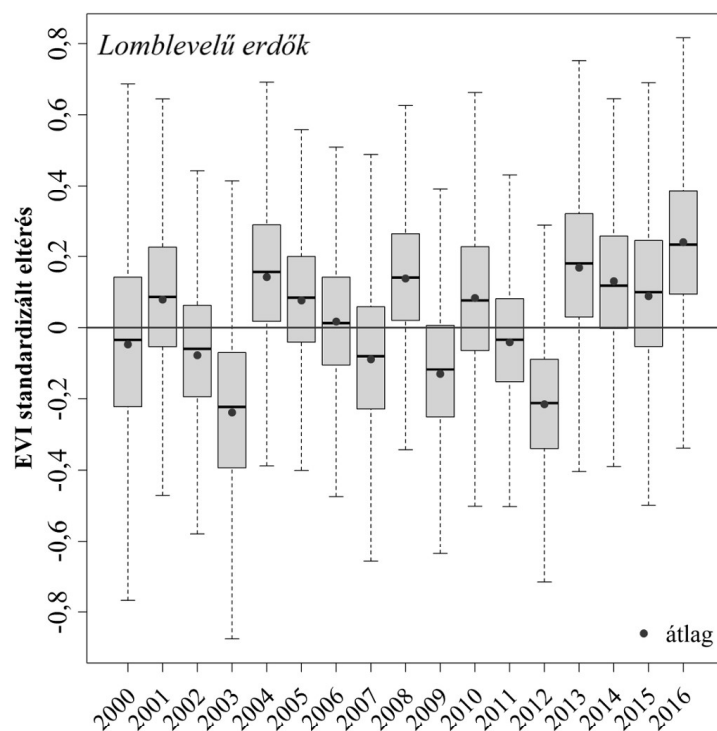
A VI idősorok a teljes időtartamban nem mutatnak trendszerű változást. A kedvező, csapadékosabb állapot növekvő VI értékei a kevésbé esős években gyorsan csökkennek; lásd. 2006–2007. Az egyedülálló nedves évek (2010), illetve aszályos évek (2015) értékei nem kiugrók. Aszályos évek értékei vízutánpótlás esetén gyorsan nőnek (2012–2013).

Csökkenési idősorok NDVI/EVI esetében: 2001–2003, 2006–2009, 2010–2013. Érdekes az éves átlagok szerint csökkenő 2004–2007, illetve 2008–2012. Jellemző a legmagasabb 1%-ot tartalmazó maximális biomassza produkció VI_{lomb} csökkenése. A pozitív hőmérsékleti- és negatív csapadékelterés adatok, alacsony talajvízszintek által kijelölt 2000–2003, 2006.09–2009.09. magyarázzák a csökkenő biomasszát (Kovács 2013).

A VI_{lomb} növekedést mutat a 03.22–05.08. tavaszi időszakban. A 2000–2006, 2007–2012, 2013–2016 három időszak fokozatosan 20%-al emelkedő tavaszi EVI produkciót mutat. A jelentős szintnövekedés igazolhatja a melegedés miatti egyre gyorsabb, intenzívebb kizöldülést (SZABÓ ET AL. 2016). A VI_{elegyes} a legnagyobb értékeknél is növekedést mutat. Feltűnő az $EVI_{\text{fenyő}}$ 06.10–06.25. közötti szin



4. ábra Lomblevelű erdők EVI medián értékeinek alakulása (2000–2016)



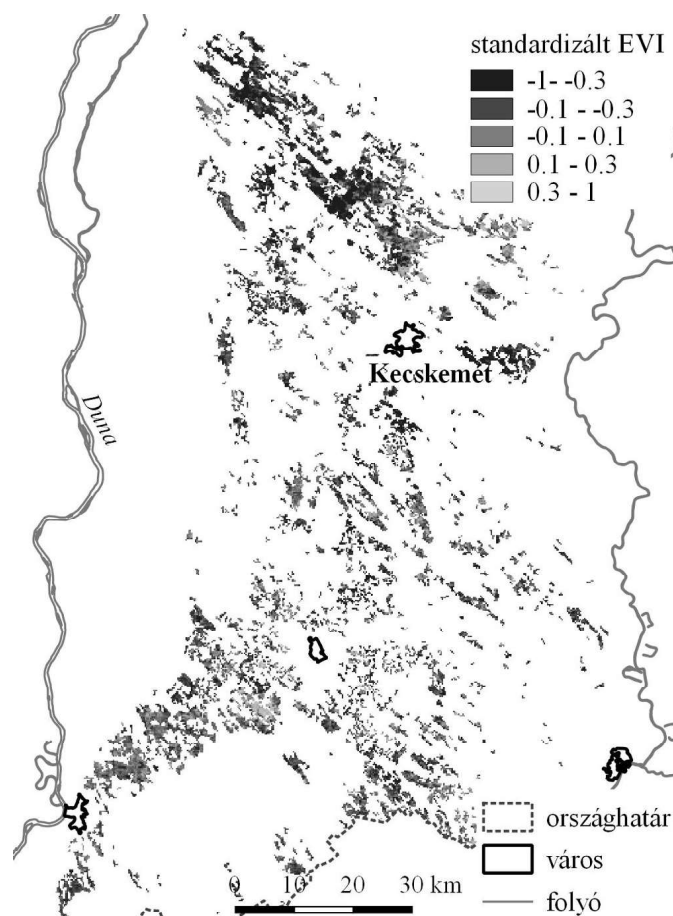
5. ábra EVI standardizált eltérése a lomblevelű erdők kategóriánál

monoton növekedése a 17 év alatt. Erdészeti szempontból kedvező, hogy a faállomány-növedék 80%-át adó 03–05–07. havi intenzív vízfelhasználás és a klimatológia szerint megadott tavaszi szignifikáns csapadékcsökkenés között elemzéseinkben nem látható kapcsolat. A fő aszályos periódusokban, a változékony 07.17–09.13. időszakokban az évek közötti ingadozás is megnő. A csapadékosabb évek után következő száraz évben azonnal lecsökken a zöldtömeg. A klimatológia egyre aszályosabb időt jelez előre, így egyre több, a 2000, 2007, illetve 2011. évhez hasonló helyzet alakulhat ki; a csökkenések tartóssá válnak.

Az EVI standardizált eltérések esetén a biomassza produktumnál is tapasztalt periódusok rajzolódnak ki: 2000–2003, illetve 2007–2012 változékony, de inkább aszályos éveket a 2004–2006, illetve 2013–2016 közötti átlagos és pozitív eltérésű évek határolják (5. ábra).

A lomblevelű erdők (elegyes erdőknél kevésbé) szerint látható, hogy egy kedvező körülményekkel szolgáló év fellendülése után éveken át tartó csökkenés jellemző egy újabb pozitív évig; csökkenő periódus pl. 2008–2012. A 2013. év óta állandósult a biomassza produktum többlet. Legrosszabb a 2007–2012-es 6 éves időszak 4 db átlag alatti évvel. A 2003. év aszályossága jól látszódik, de a lomblevelű esetében 2012, a tűlevelűnél pedig 2009 hasonlóan negatív. A pozitív eltérésű 2004–2006 között a lomblevelű folyamatosan csökken, míg a tűlevelű nő. 2013–2016 közötti lomblevelű eltérés nagyobb, a tűlevelűnél a három év átlagosnak mondható.

A standardizált EVI vizsgálatban a referenciaszinttől való eltérés térbeli vizsgálatában a tartós eltérések a vízhiányt okozó klímaváltozás hatására adott vegetációs válaszok (6. ábra). Az ezredforduló utáni aszályosabb évek negatív



6. ábra Standardizált EVI térbeli eloszlása a Duna-Tisza közti erdők esetén a 2007. év példáján

eltérései a 2006-tól kezdődő időszakban átlagosabbá váltak, majd 2012-től jobban elkülönülnek az erősödő és a gyengülő erdők. Az aszályosság mértéke az egyes erdőknél a teljes térképezési időszakban nőtt.

A CARPATCLIM adatbázisban rendelkezésre álló PAI raszteres állományt összevetettük az erdős celláinkkal. A determinációs együtthatók 0,72–0,85 közötti tartományban mozognak, ami kapcsolatot mutat a 250 m felbontású EVI/NDVI és a PAI között. Ez igazolja GULÁCSI A. – KOVÁCS F. (2015) Alföld-i, 8 napos MVC alapú eredményeit.

Konklúzió

A klímaváltozás földrajzi hatásaként az extrém vízhiányos időszakok hatása az erdős vegetációban, az eltérések statisztikai és térbeli megjelenésével jól értékelhető. Ezek gyakoribb előfordulása már rövidebb idősorban megfigyelhető csökkenést mutat. A vegetációs periódus egy-egy időszakának jellemző módosulásai is értékelhetők a rövidebb, 17 éves adatsorban; ilyen a tavaszi intenzitás változása, vagy a nyári produktum növekedése. A klimatológiai előrejelzések alapján a melegedés folyamata, illetve az extrém száraz, aszályos időszakok előfordulásának gyakorisága

a közeljövőben biztosan fokozódni fog, ami tartóssá teszi a jelenleg még rövidebb időszakra jellemző biomassza-produktum csökkenést.

Vizsgálataink új eredményei a több érzékelőnél is tapasztalható távérzékelési adatszolgáltatás minőségi javulásának köszönhetőek. Az adatbázisok a tanulmányban használt módszerekkel jó eredményekkel szolgálhatnak az operatíván működő, közel valós idejű, automatikus változás-érzékelés létrehozásához.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

A kutatást az Interreg-IPA Magyarország-Szerbia Határon Átnyúló Együttműködési Program keretében és az Európai Unió társfinanszírozásával (IPA) megvalósuló HUSRB/1602/11/0057 WATERatRISK projekt támogatta.

Irodalomjegyzék:

- AHL, D.E. – STITH, T.G. – SEAN, N.B. – NIKOLAY, V.S. – MYNENI, R.B. – KNYAZIKHIN, Y. (2006): Monitoring spring canopy phenology of a deciduous broadleaf forest using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 104, pp. 88–95.
- GULÁCSI A. – KOVÁCS F. (2015): Aszályvizsgálat lehetősége MODIS műholdképekből számított spektrális indexekkel Magyarországon. *Tájökológiai Lapok*, 13(2), pp. 235–248.
- HMIMINA, G. – DUFRÊNE, E. – PONTAILLER, J-Y. – DELPIERRE, N. – AUBINET, M. (2013): Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: An investigation using ground-based NDVI measurements. *Remote Sensing of Environment*, 132, pp. 145–158.
- HUETE, A. – DIDAN, K. – MIURA, T. – RODRIGUEZ, E.P. – GAO, X. – FERREIRA, L.G. (2002): Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83, pp. 195–213.
- JANKÓ F. – MÓRICZ N. – PAPPNÉ VANCÓS J. (2010): Klímaváltozás: tudományos viták és a társadalomföldrajz feladatai (1. rész). *Földrajzi Közlemények*, 134(4), pp. 405–418.
- KOVÁCS F. (2013): GIS analysis of short and long term hydrogeographical changes on a nature conservation area affected by aridification. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(3), pp. 97–108.
- KOVÁCS F. – GULÁCSI A. (2016): Klímaváltozás szempontú, multispektrális monitoring mezőgazdasági- és erdőterületeken. In.: PAJTÓKNÉ TARI I. – TÓTH A. (szerk.) *Magyar Földrajzi Napok, Konferenciakötet, Eszterházy Károly Egyetem – Magyar Földrajzi Társaság – Agria Geográfia Alapítvány*, pp. 41–48.
- LADÁNYI ZS. – BLANKA V. (2014): Az aszály és a biomassza produkció kapcsolata In.: BLANKA V. – LADÁNYI ZS. (szerk.) *Aszály és vízgazdálkodás a Dél-Alföldön és a Vajdaságban / Drought and water management in South Hungary and Vojvodina*. SZTE, Természeti Földrajzi Tanszék, Szeged, pp. 103–110.

- LUNETTA, R.S. – KNIGHT, J.F. – EDIRIWICKREMA, J. – LYON, J.G. – WORTHY, L.D. (2006): Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, 105, pp. 142–154.
- MEZŐSI G. – BLANKA V. – LADÁNYI Zs. – BATA T. – URDEA P. (2016): Expected mid- and long-term changes in drought hazard for the South-Eastern Carpathian Basin. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 11(2), pp. 355–366.
- MIKA J. (2014): Szünetelő melegedés – kihívások és következtetések az IPCC jelentéseiben (2013–2014). In: Sansumné Molnár J. – Siskáné Szilasi B. – Dobos E (szerk.) VII. Magyar Földrajzi Konferencia kiadványa, Miskolc, pp. 421–428.
- Nemzeti Aszálystratégia vitaanyaga (2012): Vidékfejlesztési Minisztérium, p. 88.
- Nemzeti Erdőstratégia (2016): Földművelésügyi Minisztérium, p. 63.
- Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS) (2017): 2017–2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra is kitekintést nyújtó. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, p. 223.
- Nemzeti Tájstratégia (2017): 2017–2026. Földművelésügyi Minisztérium, p. 85.
- RAKONCZAI J. – DEÁK J.Á. – LADÁNYI Zs. – FEHÉR Zs. (2012): A klímaváltozás és tájváltozás kapcsolata alföldi mintaterületeken. In.: RAKONCZAI J. – LADÁNYI Zs. – PÁL-MOLNÁR E. (szerk.) Sokarcú klímaváltozás, GeoLitera, Szeged, pp. 37–62.
- SOLANO, R. – DIDAN, K. – JACOBSON, A. – HUETE, A. (2010): MODIS vegetation index user's guide (MOD13 series), p. 38.
- SZABÓ B. – VINCZE E. – CZÚCZ B. (2016): Flowering phenological changes in relation to climate change in Hungary. *International Journal of Biometeorology*, 60, pp. 1347–1356.
- XIN, Q. – OLOFSSON, P. – ZHU, Z. – TAN, B. – WOODCOCK C.E. (2013): Toward near real-time monitoring of forest disturbance by fusion of MODIS and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 135, pp. 234–247.

Internetes források

- INTERNET1: SZÉPSZÓ G. – LAKATOS M. (2017): Politikai döntések hatása az éghajlat megváltozására – nagyban és kicsiben. OMSZ, http://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=1899&hir=Politikai_dontesek_hatasa_az_eghajlat_megvaltozasara_-_nagyban_es_kicsiben Letöltés ideje: 2018. 03. 28.